Der mikrochemische Nachweis und die Verbreitung des Aluminiums im Pflanzenreich

von

stud. phil. **Ernst Kratzmann.**

Aus dem pflanzenphysiologischen Institut der k. k. Universität in Wien.

Nr. 55 der 2. Folge.

(Mit 6 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 24. April 1913.)

Nach den Arbeiten von Molisch, Rothert, Fluri, Szücz und anderer, die sich mit den physiologischen Wirkungen von Al-Salzen auf die Pflanze beschäftigten und dabei höchst beachtenswerte Ergebnisse verzeichnen konnten, erschien es wünschenswert, auch über das Vorkommen des Al im Pflanzenreich, seine Verteilung in der Pflanze und manche andere Fragen, die sich daran knüpfen, Aufschluß zu erhalten. Daß das Al, welches bekanntlich in keinem Boden fehlt, von den Pflanzen in oft bedeutender Menge aufgenommen wird, ist ja bekannt; da aber bisher nach dem Vorkommen des Al in der Pflanze immer nur makrochemisch gesucht worden war, so kam die Frage nach der Verteilung dieses Stoffes in der Pflanze zu kurz, die sich besser mit der mikrochemischen Analyse feststellen läßt.

Da die Mikrochemie des Al in der Pflanze ein bisher gänzlich unbebautes Gebiet darstellt, so galt es, zunächst eine brauchbare Methode aufzusuchen und den speziellen Zwecken des Botanikers anzupassen, um sodann mit Hilfe derselben die obenerwähnten Fragen in Angriff zu nehmen. Damit ist Zweck und Inhalt der vorliegenden Untersuchung gegeben.

Der mikrochemische Nachweis des Al in der Pflanze.

Über den mikrochemischen Al-Nachweis finden sich bereits Angaben von Behrens, Haushofer und Emich, die sich jedoch ausschließlich auf den Nachweis im Tropfen von Lösungen, beziehungsweise in Gesteinsschliffen beziehen. In der Pflanze war das Al bisher stets nur makrochemisch nachgewiesen worden.

Der mikrochemische Al-Nachweis als Cäsium-Aluminiumsulfat. Behrens schreibt vor, den auf Al zu prüfenden Tropfen einer Lösung mit H_2SO_4 auf dem Objektträger einzudampfen, den Rückstand, der allenfalls vorhandenes Al nunmehr als Sulfat enthalten müßte, mit einem Wassertröpfchen aufzunehmen und nun am Rande desselben ein kleines Körnchen Cäsiumchlorid zuzusetzen. Es bildet sich, wenn Al gegenwärtig ist, Cäsium-Aluminiumsulfat $[Al_2(SO_4)_3 . Cs_2(SO_4)]$, das in schönen Oktaedern ausfällt. Es muß ein kleiner Überschuß von H_2SO_4 vorhanden sein, eine größere Menge von freien Säuren ist mit Ammoniumazetat abzustumpfen.

Streng gibt anstatt CsCl Cs_2SO_4 an, wodurch man den Schwefelsäureüberschuß erspart. Haushofer und Emich schließen sich im wesentlichen an diese Angaben an und bringen nur noch einige Methoden, die sich für mineralogische Zwecke eignen.

An der erwähnten Methode erschien vor allem ein Umstand für den Botaniker mißlich: das Abrauchen mit Schwefelsäure. Schnitte durch pflanzliche Gewebe vertragen eine solche Behandlung nicht. Es wurden daher zu dem Probetropfen H_2SO_4 und CsCl beide in wäßriger Lösung zugesetzt — mit positivem Erfolg. Nach längerem systematischen Ausprobieren ergab sich als vorteilhafteste Konzentration beider Reagentien eine zweimolekulare Lösung von CsCl und eine (vier-) achtmolekulare von H_2SO_4.[1] Anfangs verwendete ich beide Reagentien getrennt, indem ich zum Probetropfen zuerst die Schwefelsäure, dann sogleich das CsCl zufügte. Bei höheren Konzentrationen (d. h. 1 % des verwendeten Al-Salzes) trat fast momentan Krystall-

[1] 33·65 %, beziehungsweise 39·23 %.

bildung ein; bei stark verdünnten Lösungen zeigt sich der Effekt nach 5 bis 10 Minuten.

Später mischte ich beide Reagentien, also gleiche Mengen einer zweimolekularen Lösung von CsCl[1] und einer achtmolekularen von H_2SO_4, zu einem fertigen Reagens, das ausgezeichnete Dienste leistete.[2]

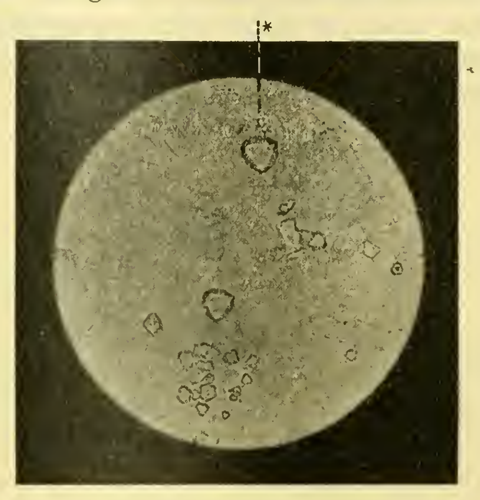


Fig. 1. Vergr. zirka 70 mal.

Ich verfuhr also derart, daß ich neben den Probetropfen einen etwa gleich großen des Reagens auf den Objektträger setzte und beide mit einem Glasstab zusammenbrachte. Die sofort oder nach 5 bis 10 Minuten entstehenden prächtigen Cs-Alaunkrystalle werden zuerst am Rande des Tropfens gebildet, oder, wenn relativ viel Al vorhanden auch in der Mitte. (Vgl. Fig. 1 und 2.) Am häufigsten, fast ausschließlich, tritt die mit * gekennzeichnete, typische Form auf, nach deren Vorhandensein

[1] Es erscheint allerdings einfacher, statt des CsCl gleich das Sulfat zu verwenden, und so den Überschuß an H_2SO_2 zu ersparen. Allein die Cs-Salze werden infolge ihres minimalen Vorkommens in so geringen Mengen produziert, daß nicht jedes beliebige Salz zu haben ist. $Cs_2 SO_4$ ist gegenwärtig weder bei Kahlbaum noch bei Merck erhältlich, sondern nur das Chlorid. So muß man sich also behelfen und durch den Überschuß an Säure das Sulfat selbst darstellen.

[2] Zu Reaktionen im Wassertropfen genügt eine 4 mol Schwefelsäure vollauf. Handelt es sich aber darum, in der Pflanzenasche oder im Schnitt

man allein mit absoluter Sicherheit sagen kann, ob Al zugegen war oder nicht.

Die Größe der Krystalle schwankt in bedeutenden Grenzen. Die kleinsten Krystalle, die ich an der unteren Grenze der Nachweisbarkeit beobachtete, sind 8 bis 10 μ groß, während die stattlichsten einen Durchmesser von 80 bis 90 μ erreichen können. Immer haben sie jedoch die charakteristische Gestalt, die mit keiner anderen mir untergekommenen Krystallform verwechselt werden kann.

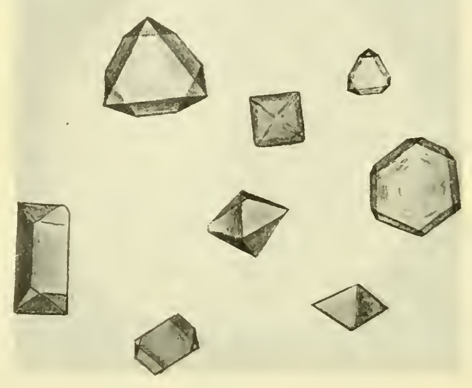


Fig. 2. Vergr. zirka 180 mal.

Empfindlichkeit der Reaktion. Mit einer Glaskapillare wurden Tröpfchen einer einprozentigen Lösung von Al $(NO_3)_3$ auf den Objektträger gesetzt, die höchstens 1 mm^3 Flüssigkeit enthielten. Dazu kam aus einer zweiten Kapillare die gleiche Menge des Reagens. Beide werden vermischt, worauf sich in der angegebenen Zeit die Reaktion zeigt. Bei Verwendung einer einprozentigen Lösung des Al-Salzes tritt sie nahezu sofort ein.

Die äußerste Verdünnung, bei der ich noch eine vollkommen deutliche Reaktion erhielt, war 0·03 %.

0·03 % Al $(NO_3)_3$ enthält in 100 cm^3 0·03 g Al $(NO_3)_3$,
0·03 % Al $(NO_3)_3$ enthält in 1 cm^3 0·0003 g Al $(NO_3)_3$,
0·03 % Al $(NO_3)_3$ enthält in 1 mm^3 0·0000003 g Al $(NO_3)_3$
$= 0·3\ \mu g$ Al $(NO_3)_3$.

Reaktionen durchzuführen, so muß ein bedeutender Überschuß an H_2SO_4 vorhanden sein, da ein großer Teil derselben von den stets mehr minder reichen Ca-Mengen gebunden und so der Reaktionsumsetzung entzogen wird.

Die geringste, nach dem geschilderten Verfahren nachweisbare Menge von Al $(NO_3)_3$ beträgt also $0 \cdot 3\ \mu g$; das ist aber auch die von Behrens angegebene Grenzkonzentration. Die Empfindlichkeit beider Methoden ist also dieselbe, ohne daß es bei der eben ausgeführten nötig wäre, abzurauchen etc.

Auch für andere Al-Salze wurde diese Grenzkonzentration ermittelt, und zwar:

für $AlCl_3$ und $Al_2(SO_4)_3$ bei $0 \cdot 3\ \mu g$; für $KAl(SO_4)_2$ schon bei $1\ \mu g$. Die geringere Empfindlichkeit der Probe gegenüber dem Kalialaun hängt offenbar mit der Doppelsalznatur desselben zusammen.

Nachweis des Al als Ammoniumfluorid. Behrens schreibt vor, dem auf Al zu prüfenden Wassertropfen »etwas Ammoniumfluorid« zuzusetzen, worauf dann kleine Oktaeder ausfallen sollen.

Auf Grund dieser Angabe beschäftigte ich mich lange mit der erwähnten Methode, ohne jedoch ein befriedigendes Ergebnis zu erhalten. Am besten waren die Krystalle noch, wenn ich dem Probetropfen die gleiche Menge einer sechsmolekularen Lösung von AmF zusetzte. Doch sind die Krystalle so klein und werden meist dergestalt von anderen, störenden Krystallen verdeckt, daß sich die Fällung des Al als Al-Ammoniumfluorid zum Nachweis im Tropfen schlecht, zum Nachweis in der Pflanzenasche überhaupt nicht eignet. Dazu kommt noch, daß sie nur bei Abwesenheit von Na und Fe gelingt, Elemente, welche in der Pflanzenasche immer vorhanden sind. Dagegen ist sie, sowie KF, das in gleicher Weise verwendet wird, zum Al-Nachweis in der Eprouvette, also makrochemisch, ganz gut brauchbar.

Andere Methoden. Es finden sich in der Literatur noch verschiedene Angaben über den Nachweis des Al mit Farbstoffen, z. B. mit Patentblau, Alizarin und Brasilin.

Ich habe diese Farbstoffe alle hinsichtlich ihrer Verwendbarkeit für die botanische Mikrochemie geprüft und dabei das Patentblau als ganz untauglich befunden. Patentblaulösung wird natürlich wie jede andere Farbstofflösung von der Asche einer Pflanze begierig aufgenommen; in Schnitten erhält man prächtige Färbung des Plasmas und der Zellulose. Membranen, die

vielleicht Al gespeichert enthalten, unterscheiden sich in nichts von den anderen. Querschnitte durch Blätter, in denen keine Spur von Al vorhanden ist, färben sich ebenso schön, wie solche durch Al-reiche Organe.

Über Alizarin und Brasilin wird später, beim Nachweis des Al im Schnitt, die Rede sein.

Überblicken wir das bisher Gesagte, so ergibt sich, daß sich die Cäsium-Methode am besten zum mikrochemischen Al-Nachweise in der Pflanze eignet; ich bediente mich ihrer daher ausschließlich, da sie rasch eintritt und stets sichere Resultate ergibt.

Anwendung der Cäsium-Methode.

1. In der Asche. Der Nachweis des Al in der Pflanzenasche gestaltet sich bei Anwendung des Cs-Reagens denkbar einfach. Man verascht auf dem Platinblech einige kleine Bruchstücke der betreffenden Pflanze, wobei man mit Vorteil Herbarmaterial verwenden kann, bringt auf einen Objektträger einen nicht zu kleinen Tropfen des Reagens und in diesen die Asche, wobei meist lebhaftes Aufbrausen erfolgt. Dies rührt von dem Entweichen der Kohlensäure her.

Entweder sofort, oder, bei geringerem Al-Gehalt innerhalb 5 bis 10 Minuten, zeigen sich die ersten Krystalle, nach deren Zahl und Größe man sich eine ungefähre Vorstellung über die Menge des in dem betreffenden Pflanzenteil vorhandenen Al bilden kann.

Stets erhält man neben den Cs-Alaunkrystallen auch solche des schwefelsauren Kalks, die meist das ganze Gesichtsfeld in Form einzelner charakteristischer Nadeln, Drusen und Prismen bedecken. Wenn aber besonders viel Ca in der Asche vorhanden ist, so ist eine kleine Vorsichtsmaßregel nötig, ohne die man leicht argen Täuschungen ausgesetzt ist.

Wenn das Aufbrausen beim Eintragen der Asche in das Reagens besonders lebhaft ist, d. h. wenn also sehr viel Carbonate, vermutlich Calciumcarbonate, vorhanden, so füge man noch einen kleinen Tropfen verdünnter Schwefelsäure hinzu, wobei meist wieder lebhaftes Aufbrausen entsteht. Ist dies der

Fall, so bringe man noch einen Schwefelsäuretropfen hinzu usf., bis alles Ca als $CaSO_4$ gebunden ist. Unterläßt man diese Vorsichtsmaßregel, so kann es bei großem Ca-Gehalt leicht geschehen, daß dieses die gesamte Schwefelsäure des Reagens bindet, und dann zur Reaktionsumsetzung keine Schwefelsäure mehr übrigbleibt. In zweifelhaften Fällen füge man stets etwas verdünnte Schwefelsäure hinzu.

Neben regelmäßig aussehenden Oktaedern kommen stets die auch in der Photographie dargestellten und mit * bezeichneten Formen vor, die für die Reaktion im höchsten Grade typisch und charakteristisch sind und von allen anderen Krystallen leicht zu unterscheiden sind. Es sind gleichfalls Oktaeder, deren Gestalt aber durch Lichtbrechung schwierig erkennbar erscheint. Nicht verwechseln darf man die Krystalle mit Rhomboedern, die manchmal ziemlich ähnlich aussehen. Bei stärkerer Vergrößerung erkennt man aber sofort die Unterschiede.

2. Im Schnitt. Wie bei den meisten mikrochemischen Reaktionen, die im Hervorrufen von Krystallen bestehen, läßt sich auch die Cs-Methode nicht zum lokalisierten Nachweis des Al im Schnitte verwerten.

Legt man z. B. einen Schnitt aus dem besonders stark Al-hältigen Blatte einer *Symplocos*-Art in das Reagens, so entstehen in kurzer Zeit am Schnittrande und auch auf dem Schnitt die Krystalle; man erkennt deutlich, daß das Al durch die Schwefelsäure gelöst wurde und außerhalb der Zelle an Punkten, die der Krystallbildung günstig waren, mit dem Cs_2SO_4 in Verbindung trat. Nirgends entstehen die Krystalle z. B. an den Membranen, gleichsam aus diesen herauswachsend, so daß man mit Sicherheit die Lokalisierung der Reaktion erkennen könnte.

Bei geringem Al-Gehalt der betreffenden Schnitte erhält man entweder keine Reaktion oder nur nach langer Zeit.

Der zuerst von Radlhofer angewendete Al-Nachweis im Schnitt mittels alkoholischer Lösung von Alizarin oder Brasilin leistet leider nur bei äußerst hohem Al-Gehalt des betreffenden Pflanzenteils gute Dienste. Recht gut verwendbar ist diese Methode bei *Symplocos*. Dagegen sind alle meine Versuche,

das Verfahren auch bei anderen Pflanzen anzuwenden, fehlgeschlagen. Ganz eindeutig ist jedoch die Färbung sicher nicht (so wie alle Färbungen!). Wie später noch erwähnt werden soll, färben sich auch Zellinhaltsstoffe mit Alizarin schön rot, die mit Al nichts zu tun haben.

Die Verbreitung des Al im Pflanzenreich.

Mit dem Cs-Reagens untersuchte ich eine größere Anzahl von Pflanzen aus den verschiedensten Stämmen und Familien auf ihren etwaigen Al-Gehalt. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in der folgenden Tabelle, kombiniert mit den Angaben aus Wolff's Aschenanalysen sowie einiger anderer Autoren[1] dargestellt, wobei ich bemerke, daß die von mir untersuchten Pflanzen durch * links gekennzeichnet sind. Der Tabelle wurde das in Wettstein's Handbuch der systematischen Botanik vorgetragene System zugrunde gelegt. Durch die Anzahl der rechts neben den Namen stehenden † ist der mehr oder minder bedeutende Al-Gehalt der betreffenden Pflanze, beziehungsweise durch 0 das Fehlen von Al ersichtlich gemacht.

Bezüglich der Bakterien, die in der Tabelle nicht aufgeführt sind, verweise ich auf Kaserer, nach dessen Angaben es scheint, »daß alle Bakterien, einen gewissen Bedarf nach Eisen und Aluminium haben.«

Nachstehende Pflanzen wurden auf Al untersucht.[2]

* *Fucus virsoides* † † †
* „ *vesiculosus* † † †
* *Gelidium* sp. † † †
* *Gigartina acicularis* † † †

---

[1] Das Buch von Langworthy and Austen konnte ich trotz aller Bemühungen weder in Bibliotheken, noch käuflich bekommen. Die darin enthaltenen Angaben hätten die nachstehende Tabelle sicher beträchtlich erweitert.

[2] Wurzeln wurden nicht untersucht, da auch bei sorgfältiger Reinigung die Gefahr bestand, daß etwas Erde und damit Al_2O_3 haften bliebe. — Die Meeresalgen wurden vor der Untersuchung gründlichst mit Leitungswasser, destilliertem Wasser abgespült und mit Watte abgerieben.

* *Antithamnion* sp. † † †
* *Nitophyllum punctatum* † † †
* *Ulva lactuca* 0
* *Enteromorpha compressa* † † † †
Cladophora glomerata 0·31%[1]
Helvella esculenta 0·80%
Morchella esculenta 1·32%
Tuber cibarium 1·11%
* *Claviceps purpurea* (Sklerotien) 0
Boletus sp. 3·73%
Agaricus campestris 0·47%
* *Lactarius* sp. (Stroma mit Lamellen) 0
Gyrophora pustulata 4·46%
Usnea barbata 1·79%
* „ *longissima* † †
* *Roccella tinctoria* † † † †
Cladonia rangiferina 1·87%, 1·76%, 2·12%
Ramalina fraxinea 1·1%
Parmelia scruposa 28·17%
Variolaria dealbata 7·77%
* *Polytrichum commune* (Sporangien) † † † †
* *Mnium* sp. Veg. Teile 0
* *Marchantia polymorpha,* Sexualorgane †
Sphagnum palustre 0·21%
» *cuspidatum* 3·06%
» *acutifolium* 3·85%, 2·99%, 3·85%, 7·99%
» sp. 5·89%
* » sp. † † † †
Lycopodium clavatum, Blätter † † † †
» » 26·65%, 22·2%
* » » Stamm ohne Rinde † † †
* » *chamaecyparissium,* Blätter † † †,
» » Sporophyllstand † † † †
» » 51·85%, 57·36%, 39·17%
» *complanatum* 37·87%
* *Equisetum maximum,* Sporophyllstand † †

[1] Die Prozentangaben aus Wolff beziehen sich auf die Asche.

* *Equisetum arvense* var. *irriguum*, Spor. † †, † † †
Steril. Teile 0
* » sp. Steril. Teile 0
* » *umbrosum*, Spor. 0, Steril. 0
* » *transsilvania* 0
* *Ophioglossum vulgare*, Spor. 0, †, † †, † † †
» » Steril. 0, (†), † †, 0, † † † †
* » *lusitanicum*, Spor. † † †, Steril. †
* *Botrychium Lunaria*, Spor. † † †, † † †, † †, † †, † † †
Steril. † † †
* » *matricarioides*, Spor. † † † †, Steril. 0
* *Osmunda regalis*, Spor. † † † †, † † † †, † † † †, 0, 0
Steril. 0, 0, 0, 0
* » *spectabilis*, Spor. † †, Steril. 0
* » *obtusifolia*, Spor. und Steril. † † † †
* *Schizaea pectinata*, Sporophyll †, †, Stiel desselben 0, 0
* » *dichotoma*, Sporophyll 0, Stiel desselben 0
* *Acrostychis* sp., Steril 0
* *Lygodium volubule*, Spor. † † † †, Steril. Blatteil † † †
* *Aspidium filix mas*, Spor. † † †, † †, † † †, † † † †
» » » Steril. †, 0, 0, 0
* *Aspidium lonchytis* 0
* » *filix femina* 0
* *Asplenium ruta murarium* 0
* » *trichomanes* †
* *Acrostychum* sp., Spor. 0
* *Blechnum spicant*, fertil †, † † †
» « Steril 0, 0
* *Cystopteris fragilis*, Spor. † † †, † †, † † †, †
» » Stiel †
* *Polypodium vulgare*, Spor. † †
» » Steril. †
Pteris aquilina, Spur
* *Scolopendrium vulgare* 0
Asplenium trichomanes, Spur
* *Cycas revoluta*, Blätter † †
* *Cupressus sempervirens*, Zweige und Blätter †, Blüten 0
* *Taxus baccata*, ♂ Blüten † †, Blätter † † †, Zweige † † †

* *Thuja occidentalis,* Blätter und Zweige †, Samen 0
* *Juniperus communis,* Blätter 0
Abies excelsa, Zweige (mit Rinde und Holz) 1·09%, 0·9%, 0·33%
» » Rinde 12·2%, 5·67%, 4·46%
» » Blätter, Spur
Larix decidua 0·27%, Blätter 0·9%, 0·2%, 0·36%, 2·77%, 0·31%
* *Pinus silvestris,* ♂ Blüten 0
» » Blätter, Spur, 0·14%
Pinus pumilio, Rinde 0·37%
» » Holz 0·16%
Ephedra equisetina 0·91%
* » *helvetica,* Blüten ††, Stamm †††, 0
* » *distachya* 0
Betula alba, Holz und Blätter 0·89%, 0·33%
* *Carpinus Betulus,* Blätter, Zweige 0, ♂ Blütenstand Spur
Castanea vulgaris, »Fruchtfleisch« 1·15%, »Kern« 6·36%
Fagus silvatica, Blätter 0·19%, Holz 0·77%, 0·9%, Fruchtschale 0·79%, Fruchtkern 0
Quercus Robur, Holz Spur
Populus alba
» *fastigiata*
» *tremula*
» *virginia*
} Spur
Salix alba, Blätter 0·2%, 0·29%
» » Holz und Rinde 0·22%, 0·45%, Rinde 0·40%, 0·39%
Ficus carica 0·04%
Humulus lupulus 1·37%
Cannabis campestris (nach Yamano) 0·27%
* *Ulmus campestris,* Blätter, Zweige 0
Celtis australis, Kernschale 0·18%
Orites excelsa (nach Smith) 79·61%, 36—43%
* *Viscum album,* Blatt 0, verholzter Zweig 0
Rhabarber (Wurzel) 0·07%
* *Polygonum aviculare,* Blätter ††, Blüten †
* *Euphorbia cyparissias* 0

* *Euphorbia verrucosa* †
» *amygdaloides* 1·25 $^0/_0$, 1·74 $^0/_0$
Buxus sempervirens, Spur
Beta vulgaris (Zuckerrübe), Samen 1·32 $^0/_0$, 1·04 $^0/_0$, 0·2 $^0/_0$
» » » Blätter 0·33 $^0/_0$, 0·37 $^0/_0$
* *Lychnis Viscaria*, Blätter, Stamm ††
* *Vaccaria pyramidata*, Stengel, Blüten 0
* *Stellaria holostea* †
Arenaria media 1·03 $^0/_0$
» *rubra* 1·92 $^0/_0$
Herniaria glabra 1·61 $^0/_0$, 2·24 $^0/_0$
* *Aristolochia Sipho* 0
* *Clematis Vitalba*, Äste †††
* *Caltha palustris*, Blatt 0
* *Ranunculus fluitans*, Blatt ††††, Blüten †, Stamm ††
* » *arvensis*, Blatt ††††, Blüten †††, Stamm †
* » *repens*, Blatt, Stamm 0, Blüten †
* *Eranthis hiemalis*, Blatt (†), Stamm 0, Blüten 0
* *Nymphaea* sp., Stamm 0
* *Papaver Rhoeas*, Kapseln †
Corydalis bulbosa 3·88 $^0/_0$
* *Cardamine pratensis* 0, †
Brassica Napus, Samen 0·58 $^0/_0$, 1·08 $^0/_0$, 0·63 $^0/_0$, 0·53 $^0/_0$
» » Stamm 0·31 $^0/_0$
* *Mathiola annua*, Blätter 0
* *Helianthemum obscurum*, Blätter, Stamm, Blüte †††
Thea chinensis 0·92 $^0/_0$, 1·27 $^0/_0$, 2·80 $^0/_0$,
» » Blätter, Holz 2·58 $^0/_0$, 4·91 $^0/_0$, 3·35 $^0/_0$
* *Linum usitatissimum*, Samen 0
» » Stamm, ganze Pflanze 7·32 $^0/_0$, 0·55 $^0/_0$, 0·59 $^0/_0$, 0·86 $^0/_0$, 2·17 $^0/_0$
* *Geranium pratense*, Blätter †††, Blüten 0
* *Ruta graveolens*, Blätter †
* *Polygala comosa* 0
Rhus toxicodendron 0·60 $^0/_0$
Paullinia sorbilis 1·30 $^0/_0$
Aesculus Hippocastanum 0·23 $^0/_0$, 0·18 $^0/_0$, 0·41 $^0/_0$
* *Acer campestre*, Frucht †, Blätter (†)

Ilex aquifolium 0·92 %
* *Evonymus europaeus,* Blätter (†)
* *Staphylea pinnata* 0
* *Vitis vinifera,* Holz, Bast ††††, Bast, Borke ††††, Holz 0,
» » Samen 0, Trauben 0·61 %, 0·69 %,
Holz, Blätter 0·73 %
» *hederacea* 0·08 %
* *Vitis Veitschii,* Blatt 0, grüner Zweig 0
* *Psedera quinquefolia,* Blatt 0, Ast †††
* *Sedum acre* 0
Rubus fructicosus, Spur
» *idaeus,* Spur
Rosa canina, Spur
»Gartenrose«, Spur
Prunus domestica, Fruchtfleisch 0·89 %
* *Lathyrus niger,* Stamm, Blätter ††††
* » *Pannonicus* 0
* *Cytisus nigricans* 0
* *Colutea arborescens* 0
Daphne Mezereum, Rinde 0·21 %
* *Elaeagnus augustifolia,* Stamm, Blätter †††† Blüte 0
* *Trapa natans,* Frucht 0
* *Hippuris vulgaris* †
* *Hedera helix,* Zweig ††, Blatt ††
* *Caucalis daucoides,* Blütenstand †††, Früchte †††,
Blätter ††††, Stamm 0
* *Anthriscus vulgaris,* Blütenstand (†), Früchte 0, Blätter 0
* *Chaerophyllum temulum* 0
* *Carum Carvi,* Stamm 0, Blütenstand †††
* *Pimpinella Saxifraga,* Blütenstand (†),
Früchte, Stamm, Blätter 0.
* *Sium latifolium,* Blatt ††, Blütenstand ††††, Stengel †††
Erica vulgaris 2·3 %, 0·84 %, 0·51 %
* *Vaccinium Myrtillus,* Stamm ††
Primula farinosa 1·91 %
* *Lysimachia punctata,* Stamm †, Blatt (†)
Maesa picta 1·15 %
* *Symplocos ferruginea* (nach Radlkofer bis 48 %) massenhaft

* *Symplocos lanceolata*
* » *polystachya*
* » *fasciculata* massenhaft
* » *spicata*
* » *odoratissima*

* *Pulmonaria officinalis,* Samen 0, Kelch 0, Korolle † † †
» » Blätter † †, Stamm † † † †
* *Echium vulgare* 0
* *Onosma arenarium* 0
* *Myosotis palustre,* Blätter und Stamm † † † †
* *Anchusa officinalis,* Blätter, Stamm † † † †
Atropa Belladonna 0·01 %
* » » Blatt 0
* *Nicotiana Tabacum* (von einer »Kuba«-Zigarre) † †
» « 0·037 %
* *Scrophularia nodosa* 0
* *Digitalis purpurea* 0
* *Melampyrum nemorosum* 0
* *Orobanche* sp., Stamm † † † †
* *Origanum vulgare* 0
* *Salvia pratensis* †
Plantago media, ganze Pflanze 1·62 %, Samen 0·32 %
* *Vinca maior* 0
Syringa vulgaris, Blätter 0·25 %, 0·2 %, Blüten 0·17 %, 0·27 %
Lonicera xylosteum 0·12 %
* *Sambucus nigra,* Blatt † †
* *Campanula Patula* †
* *Achillea millefolium,* Blatt 0, Blütenstand † †
* *Eupatorium Cannabinum,* Blätter 0, Blüten Spur
* *Scorconera hispanica* 0
* *Aster laetus* 0
* *Hypochoeris maculata,* Blätter 0, Blütenstand †
* *Cichorium Inthybus* 0
* *Bellis perennis,* Blätter Spur, Blüte 0
Taraxacum officinale 0·5 %
* » » Blätter † † † †
* *Tragopogon pratensis* †
* *Centaurea cyanus* 0

Artemisia maritima 1·59 %, 1·43 %
* *Dahlia variabilis,* Knolle 0
Carduus acaulis, Spur
Elodea cannadensis, Spur
Posidonia oceanica 3·05 %, 4·89 %
Zostera marina 0·27 %
* *Dracena rubra,* Stamm 0
Colchicum autumnale, Korolle 0·37 %
Carex riparia, Spur
Eriophorum vaginatum 2·08 %
Zea Mays, Stamm, Blätter 2·35 %, 2·22 %, Samen 0
Lolium temulentum 0·29 %
* *Neottia nidus avis,* Blüten, Stamm 0
* *Phoenix dactylifera,* Samen 0
Arum maculatum, Blätter 0·18 %.

Wenn man die systematische Stellung der in dieser Tabelle angeführten zirka 210 Pflanzen berücksichtigt, wird man zugeben, daß das Al für einen im Pflanzenreich ungemein weit verbreiteten Körper zu gelten hat.

Während nun in den meisten Pflanzen der Gehalt an Al eine gewisse geringe Menge nicht überschreitet, gibt es eine Reihe von Gewächsen, die das Al in großen Massen speichern, die somit als »Al-Pflanzen« zu bezeichnen sind; es sind jene, die in der Tabelle mit †††† gekennzeichnet sind, beziehungsweise bei denen die Angaben aus Wolff entsprechend hoch sind, also etwa *Lycopodium, Vitis, Symplocos, Orites, Anchusa* etc. etc. Und unter diesen gibt es wieder viele, bei denen das Al in ganz bestimmten Teilen vorkommt.

Hinsichtlich der Verteilung des Al lassen sich, wie aus der eben mitgeteilten Tabelle hervorgeht, keine allgemein gültigen Regeln aufstellen. Um aber wenigstens für eine Pflanze ein Bild von der Verteilung des Al zu geben, wurde *Pulmonaria officinalis* besonders genau in allen Organen untersucht.

Es ergab sich folgendes:

Wurzel: † †

Stengel: Epidermis: † † † †, übrige Teile: 0

Blatt: Epidermis: 0, übrige Teile: † †

Blüte: Kelch: 0, Korolle: † † (†), Antheren: 0, Fruchtknoten und Narbe: 0, Samen 0.

Hier ist besonders die Speicherung in der Epidermis des Stengels auffallend.

Bei anderen Pflanzen, z. B. *Sambucus nigra*, findet sich wieder in allen Teilen der Pflanze kein Al, mit Ausnahme des Blattes, das mäßige Mengen davon enthält.

Man kann ferner nicht von einer Familie oder auch nur von einer Gattung schlechtweg behaupten, daß sie nur Al-Pflanzen enthalte, wie dies bisher immer wieder geschah. Viele Leguminosen führen Al, aber nicht alle. *Lathyrus niger* z. B. sehr viel, *L. Pannonicus* keine nachweisbare Menge. Das gleiche gilt von den Borragineen. Worauf diese Unregelmäßigkeit beruht, konnte nicht ermittelt werden; aller Wahrscheinlichkeit nach liegt sie in der Natur der Pflanze. Der Boden wird in der Regel keineswegs die Ursache sein, da jede Erde hinreichend Al_2O_3 enthalten dürfte (vgl. auch p. 333).

Eine Gruppe von Al-Pflanzen ist besonders auffallend. Untersucht man z. B. den Stamm von *Equisetum arvense* auf Al, so findet man keine Spur davon. Prüft man den Sporophyllstand, so zeigt er sich sehr reich an Al.

Aspidium filix mas enthält im Wedelstiel und in den sterilen Blattspreiten meist keine Spur, mitunter sehr wenig Al, in den sporentragenden Teilen sehr viel. Aus der Tabelle wird man bei den Farnen noch andere Beispiele für derartige Lokalisationen finden. Doch muß allerdings bemerkt werden, daß hier oft starke individuelle Schwankungen vorkommen.

Leider sind diese Kryptogamen auf künstlichem Nährboden derzeit höchstens bis zur Prothalliumbildung zu bringen (und nicht einmal alle, z. B. *Lycopodium!*), so daß die Frage, ob das Al für sie ein Nährstoff sei, vorläufig unentschieden bleiben muß. Es wäre ja nicht undenkbar, daß dem Al eine gewisse Bedeutung bei der Sporenbildung zukommt, wenn man die

exzeptionelle Speicherung dieses Stoffes in den Sporophyllständen berücksichtigt.

Auch sonst konnte ich oft eine lokale Speicherung des Al nachweisen. Man vergleiche darüber die Daten der Tabelle bezüglich *Vitis vinifera* und *Pulmonaria officinalis* u. a. m.

Sehr auffallend ist auch die Tatsache, daß sich oft Blüten reicher an Al erweisen als die Blätter und Stengel, die oft nahezu kein Al enthalten.

Noch bleibt die Frage zu erörtern, in welchem Teile der Zelle das Al gespeichert wird.

Die Literatur enthält darüber keine näheren Angaben, mit Ausnahme einer einzigen von Radlkofer, welche die Blätter von *Symplocos*-Arten betrifft.

Er beschreibt in den Palisadenzellen der Blätter verschiedener *Symplocos*-Arten (besonders *S. lanceolata* und *ferruginea*) übereinandergelagerte Körper, die wie Spielsteine oder Münzen geschichtet seien und die ganze Zelle ausfüllen. Da sich diese Körper den gewöhnlichen Reagenzien gegenüber unzugänglich erwiesen, ließ Radlkofer einige *Symplocos*-Blätter chemisch analysieren, wobei sich ein geradezu enormer Al_2O_3-Gehalt der Asche ergab (bis $48\,^0/_0$). Daraus, aus der starken Färbbarkeit der Körper mit Alizarin und Brasilin, sowie aus ihrer Unlöslichkeit nach dem Glühen folgerte Radlkofer, daß die von ihm aufgefundenen Körper »Tonerdeklumpen« seien.

Ich habe diese Angabe mit Herbarmaterial aus dem Wiener Hofmuseum sowie von Herrn Geheimrat Radlkofer mir gütigst übersendetem Material nachgeprüft, jedoch zunächst absolut keine derartigen Inhaltskörper gefunden. Ich sah nur zusammengeballte Chlorophyllkörner und Fettklumpen, welch letztere auch Radlkofer und Wehnert beschreiben. Auch in einem mikroskopischen Originalpräparat, das mir Herr Geheimrat Radlkofer schickte,[1] waren sie vielleicht vorhanden, doch konnte mich der bloße Anblick nicht von ihrer Anwesenheit überzeugen.

---

[1] Ich erlaube mir an dieser Stelle Herrn Geheimrat Radlkofer für seine überaus große Freundlichkeit meinen herzlichsten Dank auszusprechen!

Um diese zweifelhaften Verhältnisse klarzulegen, ließ ich mir von Java aus dem botanischen Garten zu Buitenzorg einige beblätterte Zweige verschiedener *Symplocos*-Arten zusenden (Alkohol- und Herbarmaterial).[1] Es waren folgende:

S. polystachya } bisher nicht untersucht.
S. odoratissima }

S. fasciculata } von Wehnert untersucht.
S. spicata }

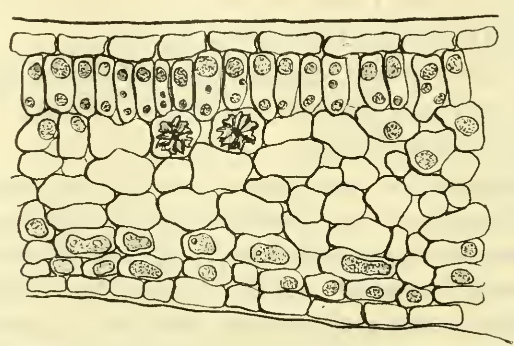


Fig. 3. Vergr. zirka 430 mal.

Querschnitt durch das Blatt von *Symplocos polystachya*. Nur die Radlkofer'schen Körper und zwei Oxalatdrusen wurden eingezeichnet.

Die von Radlkofer vorzugsweise studierten Arten *S. lanceolata* und *ferruginea* konnte ich bisher als Alkoholmaterial noch nicht erhalten.

S. polystachya ist die einzige der von mir untersuchten Arten, bei der ich deutlich Körper in den Zellen wahrnahm, die mit den von Radlkofer beobachteten Tonerdeklumpen identisch sein dürften. Die ungefärbten Schnitte zeigen im Palisaden- und Schwammparenchym zahlreiche farblose, runde bis ovale Körper zu 1 bis 2 in den Zellen (Fig. 3, 4). Selten findet man mehr in einer Zelle. Sie erinnern in ihrem Aussehen vollkommen an Riesenkerne oder Plasmamassen. Im Innern weisen sie kleine vakuolenähnliche Hohlräume auf. (Fig. 5.) Sie lösen sich in verdünnter Schwefelsäure, Salzsäure,

---

[1] Der Direktion des botanischen Gartens in Buitenzorg möchte ich gleichfalls den besten Dank sagen für die liebenswürdige Erfüllung meines Ansuchens.

Salpetersäure, Essigsäure. In Phenol erscheinen sie zuerst schwarz; diese Färbung ist darauf zurückzuführen, daß sich die Körper langsam auflösen, wobei zahllose Gasbläschen auftreten, die längere Zeit beisammen bleiben und schwarz erscheinen. Dieses Verhalten ist wichtig und zur Auffindung

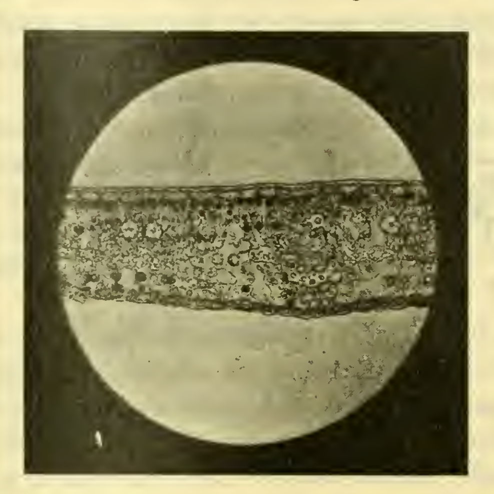


Fig. 4. Vergr. zirka 160 mal.
Querschnitt durch das Blatt von *Symplocos polystachya*. Die Radlkofer'schen Körper sind mit Alizarin gefärbt und erscheinen daher schwarz.

sehr verwendbar. Es ist meines Wissens bisher von keinem anderen Zellinhaltsstoff bekannt geworden und kann daher als charakteristisch für die Körper gelten. — Alizarin färbt sie leuchtend rot. Verascht man Schnitte oder Blattstückchen, so gewahrt man in der Asche deutlich die völlig unveränderten Körper, die nunmehr allen Reagenzien widerstehen, sich nicht mehr lösen und färben. Nur von Flußsäure werden sie gelöst. In unvollkommen geglühten Blattstücken sind die Körper schwarz, wie verkohlt.

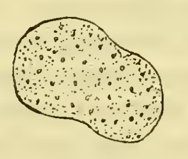




Fig. 5. Vergr. zirka 1200 mal.
Zwei einzelne Radlkofer'sche Körper (nach dem Glühen).

Die Blätter dieser *Symplocos*-Art, die ich erhalten hatte, wiesen zahlreiche schwarze Flecke auf. Querschnitte durch solche Stellen zeigten, daß dort die fraglichen Körper intensiv

blauschwarz gefärbt waren. Auf Zusatz von Säure lösten sie sich mit roter Farbe, die nach Behandlung mit Alkalien wieder ins Blaue umschlug. Es müßte also wohl in diesen Blattstellen — vielleicht durch Wundreiz infolge von Insektenstichen? — Anthokyan gebildet worden sein, das von den Körpern gespeichert wird. Ich legte einige Schnitte mit ungefärbten Körpern in eine Anthokyanlösung (aus Rotkraut): die Körper färbten sich intensiv blau.

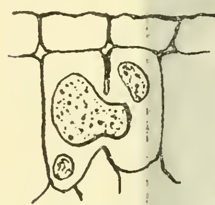


Fig. 6.
Vergr. zirka 700 mal.

Nebenstehende Abbildung (Fig. 6) zeigt eine merkwürdige Form eines der fraglichen Körper: er gehörte gleichzeitig zwei Palisadenzellen an, die miteinander in Verbindung standen, wie dies die Figur zeigt.

Bringt man Blattasche in das Cs-Reagens, so bilden sich sogleich zahlreiche Krystalle, ohne daß sich die Körper irgendwie veränderten. Dies beweist, daß die große Al-Menge der Blätter nicht nur in den Körpern gespeichert sein kann. Längere Zeit war ich daher im Zweifel, ob die »Radlkofer'schen Körper«, wie ich sie kurz benennen möchte, überhaupt Al-hältig seien?

Ich suchte zur Feststellung der chemischen Natur dieser Körper auch die in der analytischen Chemie übliche Methode des Al-Nachweises als »Thénards-Blau« heranzuziehen, die bisher in die Mikrochemie noch nicht Eingang gefunden hat. Sie ist im folgenden als »Kobaltprobe« bezeichnet.

Nicht zu dünne Querschnitte durch die Blätter werden auf dem Platinblech gründlichst geglüht; die Aschenskelette der Schnitte samt den Radlkofer'schen Körpern bleiben vorzüglich erhalten. Dann befeuchtet man sie mit ganz wenig einer stark verdünnten Kobaltnitratlösung und glüht abermals durch zirka 5 Minuten. Hierauf bringt man die Aschenskelette in einen Tropfen Alkohol auf den Objektträger und zerdrückt sie unter dem Deckglas. Jetzt sind die Radlkofer'schen Körper schön blau gefärbt.

Leider ist nun auch diese Methode für Al_2O_3 nicht streng beweisend. Denn auch viele Silikate — wenn auch nicht alle

— geben mit Kobaltsalzen eine Blaufärbung. Wenn es auch z. B. nicht gelang, die Kieselsäure in *Equisetum* und anderen als Si-hältig bekannten Pflanzen derartig nachzuweisen, so ist es doch nicht ganz ausgeschlossen, wenn auch gar nicht wahrscheinlich, daß die Blaufärbung der Radlkofer'schen Körper vielleicht doch durch eine Si-Verbindung allein ebenfalls hervorgerufen werden könnte. Außerdem glaube ich, daß die Radlkofer'schen Körper auf jeden Fall auch mehr oder minder beträchtliche Mengen einer Kieselsäureverbindung enthalten müssen. Anders kann ich mir die vollkommene Unlöslichkeit derselben nach dem Glühen nicht erklären. Reine Tonerde ist, wie man sich leicht überzeugen kann, auch nach ziemlich langem Glühen auf dem Platinblech noch leicht in Säuren löslich.

S. fasciculata. Blatt: In Phenol treten hie und da sehr wenige, kleine Gasblasen auf, aber weitaus nicht so stark wie bei der vorigen Art, sondern ziemlich diffus. Dagegen gibt Wehnert an, daß im Palisaden- und Schwammgewebe Einlagerungen von Tonerdekörpern zu sehen seien. Kobaltprobe: Keine sich blaufärbenden Klumpen wie bei der vorigen Art.[1] Zweige: Nur hie und da in Phenol ganz wenig Gasblasen. Viele durch Alizarin gefärbte Inhaltsstoffe verändern sich in Phenol nicht! Kobaltprobe: keine Al-hältigen Klumpen nachweisbar![1] Die Membranen sind teilweise schön blau gefärbt.

S. spicata. Blatt: In Alizarin keine distinkte Färbung. Weder mit Phenol noch mittels der Kobaltprobe sind Tonerdekörper nachweisbar. Zweig: In Phenol keine Blasen. Mittels der Kobaltprobe färben sich die Membranen der primären Rinde schön blau, von Tonerdekörpern nichts zu sehen.

S. odoratissima. Blatt: Alizarinfärbung nur an einigen Stellen distinkt, meist diffus. Nur ganz vereinzelt entstehen in Phenol kleine Gasblasen. Mittels der Kobaltprobe färbt sich kein Inhaltskörper blau. Zweig: In Phenol keine Blasen. Zahlreiche, mit Alizarin gefärbte Körnchen bleiben unverändert! — Kobaltprobe: Keine Tonerdekörper nachweisbar.[1] Dagegen bleibt nach

[1] In Alizarin färben sich somit auch Zellbestandteile, die, wie die Kobaltprobe erkennen läßt, nicht Al-hältig sind, beziehungsweise mit den Radlkoferschen

dem Glühen auf dem Platinblech ein vollständiges Aschenskelett der Querschnitte zurück, welches in Salzsäure und Schwefelsäure erst nach längerer Zeit löslich ist.

S. lanceolata. (Material vom k. k. Naturhistorischen Hofmuseum, Wien, und Herrn Geheimrat Radlkofer, München). Blatt: In Alizarin färbt sich besonders das Schwammparenchym und die Epidermis. Von Tonerdekörpern ist mit Sicherheit nichts wahrzunehmen, da die Zellinhalte (vor allem die Chlorophyllkörner) eine zusammengeballte, stark färbbare Masse bilden. Erst mit Hilfe der Kobaltprobe erkennt man, daß im Palisadenparenchym zahlreiche unregelmäßig geformte Körper liegen, die stark Al-hältig sein dürften. Sie müssen aber etwas anders zusammengesetzt sein als die von *S. polystachya,* da sie sich in Phenol nicht lösen.

S. ferruginea (Material vom k. k. Naturhistorischen Hofmuseum, Wien). Blatt: In Alizarin keine deutliche Färbung. Keine Tonerdekörper sichtbar. In Phenol treten keine Gasblasen auf. Auch die Kobaltprobe führt zu einem negativen Resultat.

Diese auffallenden Unterschiede zwischen den Ergebnissen Radlkofers, Wehnerts und den meinen sind vielleicht teilweise darauf zurückzuführen, daß die beiden genannten Autoren nur Herbarmaterial zur Verfügung hatten, bei dem oft der Zellinhalt derart zusammengeballt ist, daß er Klumpen vortäuscht, die dann durch die darüberliegende geschrumpfte Zellwand geschichtet erscheinen. Dazu kommt noch die diffuse Färbung mit Alizarin, welche die Zellinhalte bisweilen annehmen. Sehr wahrscheinlich ist es ferner, daß der Tonerdegehalt der *Symplocos*-Blätter stark schwankt, von der Beschaffenheit des Bodens, dem Alter des Baumes, der Blätter, und vielleicht noch anderen, uns unbekannten Faktoren abhängt.

Wie früher erwähnt, ist die zitierte Mitteilung Radlkofer's die einzige Literaturangabe, die sich auf den Ort der Al-Speicherung in der Zelle bezieht. Da

---

Körpern nichts zu tun haben. Deshalb habe ich früher diese Färbung als nicht verläßlich bezeichnet.

ferner mit Hilfe des Cs-Reagens eine genauere Lokalisierung des Al nicht möglich ist, so läßt sich wohl mit unseren derzeitigen Hilfsmitteln nicht entscheiden, ob das Al in der Pflanze im Plasma, Zellkern, Zellsaft oder in der Membran vorkommt.

Wahlvermögen der Pflanzen gegenüber dem Aluminium. Um zu ermitteln, ob die Pflanzen gegenüber dem Al ein ähnliches Wahlvermögen zeigen, wie gegenüber vielen anderen Stoffen, ob also Pflanzen, die nebeneinander auf demselben Boden stehen, die einen Al aufnehmen, die andern nicht, sammelte ich im Mai 1912 auf einer Wiese im Umkreis von wenigen Schritten folgende Pflanzen:

Lathyrus Pannonicus 0
Campanula patula †
Polygala comosa 0
Tragopogon pratensis †
Pulmonaria officinalis † † †
Salvia pratensis †
Euphorbia verrucosa †.

Durch die Anzahl der neben den Pflanzen stehenden Kreuze ist wie bisher ihr Al-Gehalt kenntlich gemacht. Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß die Pflanzen gegenüber dem Al ein Wahlvermögen besitzen. Ich erinnere ferner an den schon seit längerem bekannten Fall, daß *Juniperus communis* und *Lycopodium clavatum*, die nebeneinander vorkommen können, kein, beziehungsweise sehr viel Al speichern.

Am Schlusse meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. H. Molisch, für die Anregung zur vorliegenden Untersuchung sowie für das warme Interesse, das er derselben ständig entgegenbrachte, den innigsten und herzlichsten Dank auszusprechen. Auch Herrn Prof. Osw. Richter bin ich für seine unermüdliche Unterstützung und zahllosen, wertvollen Ratschläge zu größtem Dank verbunden!

Zusammenfassung.

1. Es wurden die in der Literatur angegebenen Methoden zum mikrochemischen Nachweis des Al geprüft und für botanische Zwecke nur der Nachweis des Al als $Al_2(SO_4)_3 \cdot Cs_2SO_4$ brauchbar befunden. Empfindlichkeit der Reaktion 0·3 μg. Die Anwendung der Reaktion wurde derart modifiziert, daß sie ein rasches und einfaches Arbeiten gestattet.

2. Mittels dieser Reaktion wurden gegen 130 Pflanzen aus den verschiedensten Familien auf Al geprüft. Auf Grund dieser Untersuchung muß das Al für einen im Pflanzenreich ungemein weit verbreiteten Körper erklärt werden, ja, manche Pflanzen enthalten so viel Al, daß man sie geradezu als Al-Pflanzen bezeichnen kann. Doch steht das Vorkommen von Al nicht in Zusammenhang mit der systematischen Stellung der Pflanzen; die eine Art einer Gattung kann sehr viel, eine andere Art derselben Gattung sehr wenig oder gar kein Al enthalten. Auch individuelle Schwankungen kommen vor.

3. Manche Kryptogamen speichern Al besonders in den Sporophyllständen, beziehungsweise den fertilen Blattabschnitten. Auch bei Angiospermen enthalten bisweilen die Blüten mehr Al als andere Teile der Pflanze.

4. Die von Radlkofer und Wehnert beschriebenen »Tonerdekörper« in Blättern von *Symplocos*-Arten konnten nur bei *S. polystachya* und *S. lanceolata* aufgefunden werden. Es ist aber durchaus nicht erwiesen, daß diese Körper wirklich nur aus Tonerde bestehen; sie enthalten sehr wahrscheinlich auch Kieselsäure, neben der Al mikrochemisch in der Pflanze mit Sicherheit nicht nachzuweisen ist, auch nicht mittels der in der Mikrochemie bisher nicht angewendeten Reaktion als »Thénards Blau«.

5. Die Pflanzen besitzen gegenüber dem Al ein spezifisches Wahlvermögen; von zwei unmittelbar nebeneinander stehenden Pflanzen kann die eine sehr viel, die andere gar kein Al enthalten.

Literaturverzeichnis.[1]

1. Behrens H., Anleitung zur mikrochemischen Analyse. 2. Auflage, Hamburg-Leipzig, p. 99.
2. Emich F., Lehrbuch der Mikrochemie. Wiesbaden 1911.
3. Fluri M., Der Einfluß von Aluminiumsalzen auf das Plasma. Flora 1908, Bd. 99.
4. Haushofer K., Mikroskopische Reaktionen. Braunschweig 1885.
5. Kaserer H., Zur Kenntnis des Mineralstoffbedarfes von Azotobakter. Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch., 1910, Bd. 28.
6. Langworthy and Austen, The occurence of Aluminium in vegetable products, animal products and natural waters. London and New York 1904. (Vergriffen.)
7. Molisch H., Der Einfluß des Bodens auf die Blütenfarbe der Hortensien. Botan. Zeitung, 1897, Bd. 55.
8. Pellet et Fribourg, De l'alumine dans les plants. Ann. Sc. agron. franç. et etrangère, 3e série II., 1907. (Ref. Botan. Zentralbl., 1910.)
9. Radlkofer L., Über Tonerdekörper in Pflanzenzellen. Berichte d. deutsch. botan. Gesellsch., 1904, Bd. 22.
10. Rothert W., Das Verhalten der Pflanzen gegenüber dem Aluminium. Botan. Zeitung, 1906, Bd. 64.
11. Smith H. G., Aluminiumsuccinat in Orites excelsa. Chemical News, Vol. 38.
12. Streng A., Anleitung in Fuchs-Brauns, Anleitung zur Bestimmung der Mineralien, Gießen 1890.
13. Szücz J., Über einige charakteristische Wirkungen des Aluminiumions auf das Protoplasma. Pringsheims Jahrbücher, 1913, Bd. 51.
14. Wehnert A., Anatomisch-systematische Untersuchung der Blätter der Gattung Symplocos. Diss., München 1906.

[1] Jene Arbeiten, welche sich ausschließlich mit den physiologischen Wirkungen des Al beschäftigen und nur in losestem Zusammenhang mit vorliegender Untersuchung stehen, wurden nicht in das Literaturverzeichnis aufgenommen.

15. Wettstein R. v., Handbuch der systematischen Botanik. Wien 1911.

16. Wolff E., Aschenanalysen von landwirtschaftlichen Produkten, Fabriks-Abfällen und wildwachsenden Pflanzen. Berlin 1871—1880.

17. Yamano, Can aluminium salts enhance plant growth? Bull. coll. Agric. Tokyo VI., 1905.